



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 198 11 982 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
B 60 G 17/01
B 60 G 17/052
B 60 G 11/27
G 01 B 17/00

21 Aktenzeichen: 198 11 982.8
22 Anmeldetag: 19. 3. 98
43 Offenlegungstag: 23. 9. 99

DE 198 11 982 A 1

71 Anmelder:
Microsonic Gesellschaft für Mikroelektronik und
Ultraschalltechnik mbH, 44227 Dortmund, DE
74 Vertreter:
Gehrke, P., Dipl.-Biol.Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 45894
Gelsenkirchen

72 Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung
56 Entgegenhaltungen:
DE 1 96 48 112 C1
DE 40 28 315 A1
DE 36 20 957 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Ultraschall-Luftfeder

57 Die Erfindung betrifft eine Ultraschall-Luftfeder mit einem elastischen Luftfederbalg zur Aufnahme von Federbewegungen und Befestigungsteilen, wobei der Luftfederbalg ein erstes Ende und ein dem ersten Ende gegenüberliegendes zweites Ende aufweist, welche relativ zueinander beweglich angeordnet sind, und einem Ultraschallsensor zur Erfassung des Abstands zwischen dem ersten und dem zweiten Ende des Luftfederbalgs, wobei der Ultraschallsensor einen Ultraschallwandler enthält, der für eine hohe Frequenz ausgelegt ist und piezoelektrisches Wandlerelement sowie eine Anpaßschicht aufweist, dessen Dicke ein Viertel der wandlereigenen Wellenlänge beträgt.

DE 198 11 982 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Ultraschall-Luftfeder, welche eine berührungslose Abstandsmessung zwischen einer oberen Platte (einem ersten Ende) und einem unteren Kolben bzw. Puffer (einem zweiten Ende) eines elastischen Luftfederbalgs ermöglicht.

Luftfedern dienen als Federelement an Nutzfahrzeugen und in jüngster Zeit auch als Federelement in Hochgeschwindigkeitszügen. Die Luftfeder sitzt dabei als Feder- und Dämpfungselement zwischen Achse und Fahrzeugaufbau. In der Regel sind auf einer Achse links und rechts in der Nähe der Räder jeweils eine Luftfeder montiert. Weitere Anwendungen finden sich an Personenkraftwagen und an stationären Industrieanlagen.

Eine Luftfeder weist üblicherweise einen elastischen Luftfederbalg zur Aufnahme der Federbewegungen und Befestigungsteile auf. Der Luftfederbalg selber enthält Deckschichten aus Elastomer-Werkstoffen, Gewebereinlagen und einen Stahldrahtkern. Der Luftfederbalg ist an den beiden offenen Enden mittels Befestigungsteilen abgedichtet und am Fahrzeug befestigt. In der Luftfeder kann ein Puffer angeordnet sein, der als Endanschlag und Notlauffeder dient, wenn die Luftfeder vollständig zusammengedrückt wird. Fig. 1 veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau einer Luftfeder.

Über einen Kompressor, einen Druckluft-Vorratsbehälter und ein steuerbares Ventil wird Luft in die Luftfeder eingebracht. Dies bewirkt ein Aufblasen und Aufrichten der Luftfeder. Der Fahrzeugaufbau wird angehoben. Die eingebrachte Luftmenge bestimmt den Hub, d. h. wie weit der Aufbau angehoben wird. Die Kompressibilität der Luft bewirkt die Feder- und Dämpfungsfunktion der Luftfeder. Über ein weiteres Ventil kann die Luft aus der Luftfeder wieder entfernt werden. Dies bewirkt ein Absenken des Fahrzeugaufbaus. In der Regel wird die zu entfernende Luft einfach in die Umgebung abgelassen.

Namhafte Hersteller derartiger Luftfedererelemente sind z. B. ContiTech aus Hannover oder Firestone, USA.

Um einen Fahrzeugaufbau in die korrekte Position anzuheben, muß dessen Höhe relativ zur Achse bekannt sein. Stand der Technik ist es, an Aufbau und Achse Gestänge mit Gelenken anzubringen, die auf einen Drehwinkelsensor wirken. Eine Veränderung der relativen Höhe zwischen Fahrzeugaufbau und Achse wirkt. Über die Gestänge auf den Drehwinkelsensor. Die Information dieses Drehwinkelsensors wird in eine Steuereinheit eingelesen und dort in ein Höhensignal umgerechnet. Diese Steuereinheit dient dazu, den Fahrzeugaufbau in eine bestimmte Höhenposition zu bringen. Dies geschieht durch Einlassen und Ablassen von Luft in bzw. aus der Luftfeder. Die Steuereinheit wirkt auf entsprechende Ventile, die zwischen einem Druckluft-Vorratsbehälter und jeder Luftfeder und an Auslaßstutzen sitzen. Die Firma Wabco aus Hannover hat eine derartige Steuereinheit für den Einsatz an Nutzfahrzeugen entwickelt. Über die Rückmeldung der Drehwinkelsensoren regelt die Steuereinheit die Luftmenge in jeder Luftfeder nach, so daß die Höhenposition des Fahrzeugaufbaus ständig auf ein vorgegebenes Niveau nachgeregelt wird. Über ein Handbediengerät kann der Fahrzeugführer auch den Fahrzeugaufbau in jede beliebige Höhe innerhalb des Hubs der Luftfedern bringen. Dies ist besonders nützlich, da für das Be- und Entladen eines Lkw die Ladefläche an die Höhe einer Fahrzeugrampe angepaßt werden kann. Ein anderes Beispiel ist der Einsatz an Linienbussen. Sogenannte Niederflurbusse sind in der Lage, den Fahrzeugaufbau nur auf der rechten Seite abzusenken, um den Passagieren einen komfortablen Ein- und Ausstieg zu ermöglichen.

Während der Fahrt eines mit Luftfedern ausgestatteten Fahrzeuges veranlaßt die Steuereinheit, daß der Fahrzeugaufbau auf einer vom Fahrzeughersteller vorgegebenen Position gehalten wird. Der Drehwinkelsensor meldet fortlaufend die aktuelle Positionen des Fahrzeugaufbaus an die Steuereinheit zurück.

Nachteilig bei dem heute eingesetzten Drehwinkelsensor ist der mechanische Aufwand für die notwendigen Gestänge, die den Höhenunterschied zwischen Achse und Aufbau in eine Drehbewegung umsetzen. Die Gestänge und der Drehwinkelsensor sind teuer in der Herstellung und Montage. Auch sind Drehwinkelsensoren störanfällig, da sie unterhalb des Fahrzeugaufbaus allen Witterungsbedingungen und dem Wasser und Dreck, den die Räder während der Fahrt aufwirbeln, ausgesetzt sind. In unebenem Gelände können diese Gestänge auch abgefahren werden.

Die US-Patentschrift 4,798,369 beschreibt eine Ultraschall-Luftfeder mit einem elastischen Luftfederbalg und einem Ultraschallsensor, der in einer oberen Platte des Luftfederbalgs eingebaut ist und nach der Echo-Laufzeitmessung innerhalb des Luftfederbalgs den Abstand zu einem unteren Kolben mißt. Der Ultraschallsensor (Fig. 2), der nach der Echo-Laufzeitmessung arbeitet, enthält einen Ultraschallgenerator 1, einen Ultraschall-Sendewandler 2, einen Ultraschall-Empfangswandler 3, einen Signalverstärker 4, eine Steuerlogik 5 und eine Ausgangsstufe 6. Die Steuerlogik wird üblicherweise mit einem Mikroprozessor verwirklicht. Die Funktionsweise ist wie folgt: Die Steuerlogik gibt auf den Ultraschallgenerator einen kurzen Triggerimpuls. Der Ultraschallgenerator erzeugt darauf einen einzelnen Impuls (Diracstoß) oder ein Schwingungspaket, der auf den Ultraschall-Sendewandler geführt wird. Der Ultraschall-Sendewandler strahlt einen kurzen Schallimpuls ab. Dieser Schallimpuls läuft zu einem unteren Kolben, wird dort reflektiert und gelangt als Echo zurück zum Ultraschall-Empfangswandler. Im Verstärker wird das Echosignal verstärkt und auf die Steuerlogik geführt. Die Steuerlogik mißt über einen internen Zähler die Zeit zwischen Aussenden des Schallimpulses und Empfang des Echosignals. Da die Schallgeschwindigkeit bekannt ist, kann über die so gemessene Echo-Laufzeit auf die Entfernung zwischen Ultraschallsensor und Kolben geschlossen werden.

Der gemessene Entfernungswert wird über die Ausgangsstufe an das Steuergerät ausgegeben. Der Einsatz eines Ultraschallsensors in der Luftfeder hat den Vorteil, daß ein derartiger Sensor optimal gegen mechanische Beschädigungen geschützt ist. Die über den Kompressor in die Luftfeder eingeblasene Luft ist in der Regel gefiltert, entfeuchtet und entölt. Somit herrschen in der Luftfeder im Vergleich zu den Außenbedingungen optimale Umgebungsbedingungen für eine Höhenmessung.

Die in der US-Patentschrift 4,798,369 beschriebene Ultraschall-Luftfeder weist mehrere Nachteile auf:

Nachteil A

Ultraschallwandler mit zu niedriger Ultraschallfrequenz

Die verwendete Ultraschallfrequenz ist mit 33 kHz bis 40 kHz derart niedrig gewählt, daß der dafür vorgesehene Ultraschallsensor im Schallfeld einen sehr großen Öffnungswinkel besitzt. Es besteht die Gefahr, daß der Ultraschallsensor nicht nur ein Echo von dem gegenüberliegenden Kolben, sondern auch fälschlicherweise von der inneren Falte des Luftfederbalgs empfängt.

Eine Frequenz von 40 kHz entspricht einer Wellenlänge von ca. 9 mm. Die Wellenlänge geht bei einer Echo-Laufzeitmessung maßgeblich in die erzielbare Meßgenauigkeit

ein. Die Meßgenauigkeit bzw. das Auflösungsvermögen beträgt üblicherweise etwa eine Wellenlänge. Soll ein Fahrzeugaufbau mit einer Genauigkeit von ± 3 mm im Niveau positioniert werden, ist dies mit einem Ultraschall-Höhensensor mit einer Frequenz von 40 kHz nicht oder nur mit erheblichem elektronischem Aufwand möglich.

Der erforderliche Meßbereich, den ein Ultraschallsensor in einer Luftfeder abdecken muß, beträgt etwa 0 mm bis 500 mm. Ist kein Überdruck in der Luftfeder vorhanden, ist diese vollständig zusammengedrückt: die obere Platte liegt auf dem unteren Kolben bzw. auf einem Puffer auf. Der Abstand zwischen dem Ultraschallsensor, der auf oder in der oberen Platte montiert ist, und dem Puffer beträgt unter Umständen nur wenige mm. Ist der Luftfederbalg vollständig aufgeblasen, beträgt der Abstand zwischen Platte und Kolben z. B. 500 mm.

Der in der oben angeführten Patentschrift beschriebene niederfrequente Ultraschallwandler ist in bezug auf eine Verwendung zur Abstandsmessung in einem Luftfederbalg dahingehend nachteilig, daß bedingt durch seinen Aufbau der sogenannte Nahbereich sehr groß ist und typischerweise bei über 20 cm liegt. Will man nämlich mit nur einem Ultraschallwandler den Sendeimpuls abstrahlen und anschließend über denselben Ultraschallwandler die Echosignale empfangen, muß mit dem Empfang der Echosignale so lange gewartet werden, bis der Sendeimpuls vollständig abgeklungen ist. Bei niederfrequenten Ultraschallwandlern mit piezoelektrischem Wandlerelement liegt der Nahbereich entsprechend der Aus- bzw. Nachschwingzeit typischerweise bei 20 cm und mehr. Ist jedoch eine Abstandsmessung von wenigen mm beabsichtigt, müssen zwei Ultraschallwandler in dem Ultraschallsensor vorgesehen werden, nämlich ein Ultraschallwandler zum Senden des Schallimpulses und ein Ultraschallwandler zum Empfangen der Echosignale. Nur so kann bei Ultraschallwandlern mit langer Nachschwingzeit der Nahbereich drastisch verkürzt werden. Jedoch vergrößert der Einsatz von zwei getrennten Ultraschallwandlern zum Senden und Empfangen von Ultraschall- bzw. Echosignalen die mechanischen Abmessungen des Ultraschallsensors und verteuert ihn erheblich.

Nachteil B

Hohe Rauschpegel besonders beim Ein- oder Ausströmen der Luft

Wird Luft über die Ventile in die Luftfeder ein- oder gelassen, entsteht an den Lufteinlässen parasitärer Ultraschall. Dieses Phänomen ist bekannt. Wird beispielsweise ein Ventil aus einem Autoreifen herausgeschraubt, entsteht ein sehr hoher Pfeifton. Das so entstehende Ultraschall-Rauschen reicht weit über den 40 kHz-Frequenzbereich hinaus. D. h. in dem Moment, wo der Ultraschallsensor ein aktuelles Höhensignal liefern soll, empfängt er, hervorgerufen durch die niedrigere Ultraschall-Frequenz und den großen Schallfeldöffnungswinkel, einen sehr hohen Rauschpegel. Versuche haben ergeben, daß dieser Rauschpegel deutlich über dem Nutzsignal liegt. In dieser Phase ist eine Entfernungsmessung nicht möglich.

Nachteil C

Keine Lösung für Temperaturkompensation

Ferner ist bei der oben beschriebenen Ultraschall-Luftfeder nach dem Stand der Technik eine Kompensierung der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit als Störgröße nicht vorgesehen. Als Richtwert sei hier die Ab-

hängigkeit mit $0,17^{\circ}\text{C}$ genannt. Ändert sich beispielsweise die Lufttemperatur um z. B. $\pm 20^{\circ}\text{C}$, bewirkt dies einen Meßfehler von ca. $\pm 3,4\%$. Legt man eine maximale Meßstrecke von 500 mm zugrunde, bewirkt dies einen Meßfehler von ± 17 mm. Bei einer angestrebten Genauigkeit von z. B. ± 3 mm ist es also notwendig, diese Störeinflüsse zu kompensieren.

Wird Luft in den Luftfederbalg eingelassen, bewirkt die Kompression der Luft einen sehr schnellen Anstieg der Lufttemperatur. Bei praktischen Versuchen wurden Temperatursprünge von über 50°C gemessen. Umgekehrt kühlt sich die Luft in dem Luftfederbalg sehr schnell und sehr stark ab, wenn Luft aus der Luftfeder ausgelassen wird. Diese sehr starken Temperatursprünge nehmen mit Erreichen des Druckgleichgewichtes wieder ab. Die Ausgleichvorgänge können zwei Minuten Zeit beanspruchen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine aus der US-P-4,798,369 bekannte Ultraschall-Luftfeder derart weiterzubilden, daß die oben genannten Nachteile A, B und C vermieden werden.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt durch die kennzeichnenden Merkmale der nebengeordneten unabhängigen Ansprüche.

Lösung zu A

Einsatz eines Ultraschallwandlers hoher Frequenz mit Anpassschicht

Demgemäß enthält der Ultraschallsensor einer Ultraschall-Luftfeder nur einen Ultraschallwandler, der für eine hohe Frequenz ausgelegt ist und ein piezoelektrisches Wandlerelement sowie einen Anpasskörper aufweist, dessen Dicke ein Viertel der wandlereigenen Wellenlänge beträgt.

Der Ultraschallwandler arbeitet bei einer hohen Frequenz von mindestens 60 kHz und besitzt einen verringerten Nahbereich und Schallfeld-Öffnungswinkel, wodurch sich eine Erhöhung des Meßbereichs sowie eine Erhöhung der Meßgenauigkeit ergibt.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die vorliegende Erfindung wird in der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnung erläutert.

Fig. 1 veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau der erfindungsgemäßen Ultraschall-Luftfeder;

Fig. 2 zeigt ein Schaltungsdiagramm eines Ultraschallsensors;

Fig. 3 zeigt die Anordnung eines Ultraschallsensors in einem zylindrischen Dom, der an dem oberen Ende eines Luftfederbalgs angebracht ist;

Fig. 4 zeigt die Anordnung eines Ultraschallsensors in einem sich nach außen verjüngenden Dom, der an einer oberen Platte (einem ersten Ende) eines Luftfederbalgs angebracht ist;

Fig. 5 zeigt eine Rauschpegelerkennungsschaltung des Ultraschallsensors;

Fig. 6 stellt die Anordnung eines Referenzreflektors an der Innenseite des sich nach außen verjüngenden Doms dar; und

Fig. 7 zeigt die kugelförmige Oberflächenausbildung der dem Ultraschallsensor zugewandten Seite des Kolbens bzw. des Puffers (des zweiten Endes) des Luftfederbalgs.

Fig. 8 zeigt einen Impuls-Ultraschallwandler

Fig. 9 stellt ein Flußdiagramm dar sowie

Fig. 10 ist ein Zeitdiagramm

Fig. 1 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Demgemäß enthält die erfindungsge-

maße Ultraschall-Luftfeder **20** einen Luftfederbalg **22**, der eine obere Platte **24** (erstes Ende) und einen mit einem Puffer **27** versehenen Kolben **26** (zweites Ende) aufweist, und einen Ultraschallsensor **30**, der einen extrem hochfrequenten Ultraschallwandler **2/3** aufweist. Der Ultraschallwandler besitzt ein piezoelektrisches Wandlerelement und eine darauf angeordnete sogenannte Lambda/4-Anpaßschicht. Die Lambda/4-Anpaßschicht dient dazu, die unterschiedlichen Wellenwiderstände zwischen dem aus einer Piezokeramik bestehenden Wandlerelement und der Umgebungsluft anzupassen. Im folgenden wird der Aufbau und die Funktionsweise derartig aufgebauter Ultraschallwandler dargestellt. Einem Kunstharz werden Glashohlkugeln beigemischt. Aus diesem Material werden Scheiben gewonnen, die in ihrer Stärke ein Viertel der Wellenlänge der zu verwendenden Ultraschallfrequenz betragen und die Lambda/4-Anpaßschicht bilden. Auf die Rückseite einer derartigen als Scheibe ausgebildeten Lambda/4-Anpaßschicht sind in der Mitte eine Piezoscheibe und ein darum angeordneter Schwingring bzw. Metallring geklebt. Die Lambda/4-Anpaßschicht und der Schwingring bilden zusammen eine Lambda/2-Schicht. Das derart ausgebildete Schwingelement ist weich gelagert z. B. in einem PU-Schaum oder in einem Silikon. Ultraschallwandler nach diesem Funktionsprinzip lassen sich gut für einen Frequenzbereich von typischerweise 60 kHz bis 400 kHz aufbauen. Sie zeichnen sich durch eine scharfe Bündelung des Schallfelds und ein kurzes Aus- bzw. Nachschwingen aus. Für die Anwendung im Luftfederbalg eignen sich vorzugsweise Ultraschallwandler, die bei einer Frequenz von mindestens 100 kHz arbeiten. Besonders geeignet ist der Frequenzbereich zwischen 300 und 400 kHz. Ein 400 kHz Ultraschallwandler obiger Gattung hat einen Nahbereich von nur 60 mm und eine sehr schlanke Schallkeule.

Als Lambda/4-Anpaßschicht eignen sich auch noch andere Materialien wie zum Beispiel PE (Polyethylen). Hervorragende Eigenschaften hat auch das Naturprodukt Kork, allerdings ist dessen Verarbeitung nicht unproblematisch.

Versuche mit dem oben beschriebenen 400 kHz Ultraschallwandler haben gute Meßwerte über den gesamten Meßbereich gezeigt. Allerdings ist ein Nahbereich von 60 mm für diese Anwendung immer noch recht hoch. Vorzugsweise wird der Ultraschallsensor **30** um den Nahbereich nach hinten versetzt in einem auf der oberen Platte **24** angebrachten Dom **32** angeordnet (Fig. 3). Der Dom ist zylindrisch ausgebildet und besitzt erfindungsgemäß einen Durchmesser, der wenigstens 5 mal größer ist als die Apertur des Ultraschallwandlers **2/3** ist. Dies ist notwendig, um eine nicht zu hohe Schalldichte im Bereich der Domwandungen zu bekommen. So kann vermieden werden, daß kleinste, unvermeidbare Rauigkeiten oder Schmutzpartikel auf der Innenwand zu Störreflexionen führen. Versuche haben gezeigt, daß bei einem Innendurchmesser von 30 mm das Risiko von Störreflexionen ausreichend gering ist. Natürlich wäre ein noch größerer Domdurchmesser vorteilhafter; jedoch ist dieser in der Regel aufgrund der begrenzten Einbaubedingungen in der oberen Platte nicht realisierbar. Der Dom kann im oberen Bereich entsprechend Fig. 4 verjüngt sein. Der Dom öffnet sich konisch oder parabelförmig.

Derartige Anordnungen bergen allerdings nach wie vor die Gefahr, daß bei geringsten Schmutzablagerungen innerhalb des Doms es dort zu Schallreflexionen kommt. Will man diese Nachteile vermeiden, muß man den Ultraschallsensor **30** bündig mit dem Ultraschallwandler **2/3** in die obere Platte **22**, d. h. in das erste Ende, des Luftfederbalgs einlassen. In dieser Einbaulage wäre aber ein noch kürzerer Nahbereich vorteilhaft.

Man könnte den oben beschriebenen Ultraschallwandler stärker bedämpfen, dies reduziert jedoch gleichzeitig das

Übertragungsmaß und schränkt somit die maximal erreichbare Tastweite ein.

Weitere Verbesserungen bringt der Einsatz sogenannter Impuls-Ultraschallwandler **41** (Fig. 8). Bei diesem Typ von Ultraschallwandler wird aus einem Material mit guten akustischen Koppelereigenschaften ein Topf **43** gebildet, in dem eine Piezoscheibe **40** geklebt wird. Die Dicke der radial schwingenden Piezoscheibe **40** beträgt vorteilhafterweise etwa 5% des Durchmessers derselben. Der gesamte Topf **43** besteht vorzugsweise wieder aus mit Glashohlkugeln verfülltem Epoxidharz. Die Dicke des Schwingbodens beträgt Lambda/4. Der Topf hat auf der äußeren Bodenseite umlaufend eine Phase von vorzugsweise 45°, die in ihrer Größe so gewählt ist, die Stirnseite etwa den gleichen Durchmesser wie die Piezoscheibe erhält. Der Topfinnenraum wird mit einem Dämpfungsmaterial **42** gefüllt (Wellensumpf). Der Schwingkörper wird in einem weichen Material wie z. B. PU-Schaum gelagert. Der Impuls-Ultraschallwandler wird bündig in den PU-Schaum eingegossen, so daß nur die schallabstrahlende Fläche herausragt. Läßt man den Schwingkörper geringfügig weiter aus den PU-Schaum herausstehen, z. B. bis zum Ansatz der umlaufenden Phase **44**, kann man hierdurch vorteilhafterweise das Übertragungsmaß noch etwas erhöhen.

Dieser Ultraschallwandler ist breitbandig und hat somit günstigere Ein- und Ausschwingzeiten. Für den Einsatz im Luftfederbalg wurde ein Ultraschallwandler aufgebaut, der eine typische Ultraschallfrequenz von 320 kHz und einen Nahbereich von nur noch 30 mm aufweist. Ein Ultraschallsensor, ausgerüstet mit diesem Ultraschallwandler kann bündig in die obere Platte eingebaut werden. Mit 30 mm Nahbereich wird der Kolben bzw. der Puffer auch noch sicher erkannt, wenn die Platte auf dem Puffer aufliegt.

Lösung zu B

elektronische Rauschunterdrückung

Praktische Versuche haben gezeigt, daß je nach Aufbau der Ventile und der Einführungsstutzen beim Ein- und Auslassen der Luft ein "Pfeifen" auftritt, wodurch ein Ultraschallrauschen erzeugt wird. Insbesondere ist das Öffnen eines Ventils sehr kritisch.

Erfindungsgemäß ist eine dem Ultraschallwandler **2/3** nachgeschaltete Signalverarbeitungsschaltung mit einer Rauschpegelerkennungsschaltung ausgestattet (Fig. 5). Diese Rauschpegelerkennungsschaltung sorgt dafür, daß die Empfindlichkeit des Analogverstärkers zurückgenommen wird, wenn die Echsignale von Rauschsignalen überlagert werden. Dies kann durch zwei Maßnahmen erreicht werden, die entweder einzeln oder in Kombination angewandt werden:

Über eine Tiefpaßschaltung **9** wird aus dem über den Gleichrichter **7** gleichgerichteten Empfangssignal der zeitliche Mittelwert gebildet. Dieses quasi Gleichspannungssignal wird auf den Wechselspannungsverstärker **4** zurückgekoppelt, so daß bei einem Anstieg des zeitlichen Mittelwerts die Verstärkung des Wechselspannungsverstärkers zurückgenommen wird. Der Aufbau derartiger Filter und Verstärker ist hinlänglich bekannt und kann u. a. in dem Standardwerk "Halbleiterschaltungstechnik" von U. Tietze und Ch. Schenk, Springer Verlag nachgelesen werden. Empfängt der Ultraschallwandler nun ein lang anhaltendes Rauschsignal, z. B. hervorgerufen durch das Öffnen eines der Luftventile, steigt die Ausgangsspannung nach dem Tiefpaßfilter an und regelt den Wechselspannungsverstärker zurück.

Aus dem verstärkten Echsignal wird in der letzten Stufe über einen Komparator **7** eine Ein-Bit-Information gewon-

nen. Diese Ein-Bit-Information enthält die Information darüber, ob ein Echo erfaßt wurde, und wird von einer Logik- bzw. Steuerschaltung 5 weiterverarbeitet. Die ausgekoppelte Regelspannung wird auf eine Vergleichsspannung des Komparators gegeben. Bei einem großen Rauschpegel verschiebt die über der Tiefpaßschaltung gewonnene Regelspannung die Vergleichsspannung nach oben; ein Echosignal muß, um erfaßt zu werden, über diese schwimmende bzw. variable Triggerschwelle kommen.

Wird jedoch z. B. das Ventil mitten im Meßzyklus geöffnet, kann dieser Störimpuls nicht von der Regelschaltung sofort ausgeglichen werden. Erfindungsgemäß filtert die Logikschaltung diese erstmaligen und auch etwaig einmalige, sporadische Störgeräusche aus, in dem nicht jede Messung einzeln, sondern mehrere Messungen ausgewertet werden. Die einfachste Filtervariante besteht aus einem 2 aus 3 Vergleichern, d. h. von 3 hintereinander durchgeführten Messungen müssen wenigstens 2 Meßwerte in einem engen Toleranzbereich zusammenliegen (Fig. 9).

Lösung zu C

Temperaturkompensation

Erfindungsgemäß wird der Einfluß der Temperatur auf die Schallgeschwindigkeit durch eine in den Ultraschallsensor 30 integrierte Temperaturmeßstelle 10 realisiert. Zur Messung der Temperatur eignen sich Infrarot-Strahlungsmesser, Thermoelemente, Thermistoren (NTC und PTC-Widerstände). Auch kann zur Temperaturmessung die Temperaturabhängigkeit einer pn-Sperrschicht genutzt werden.

Aufgrund ihres günstigen Preises und der einfachen Auswerteschaltungen sind besonders Thermistoren zur Temperaturmessung geeignet.

Der Temperaturfühler wird vorzugsweise im Ultraschallsensor in der Nähe des Ultraschallwandlers angeordnet. Bevorzugt kann ein Thermistor zusätzlich in dem PU-Schaum des Ultraschallwandlers eingebettet werden.

Der Temperaturmeßwert wird von der Steuerlogik, die bevorzugt durch einen Mikrocontroller realisiert wird, eingelesen und weiterverarbeitet.

Erfindungsgemäß wird das über eine sehr große Zeitkonstante integrierte Temperatursignal zur Kompensation der statischen Außentemperatur genutzt. Mit dem stark gedämpften Temperatursignal werden – vereinfacht ausgedrückt – die Sommer-Winter Außentemperaturen kompensiert. Hier ist typischerweise ein Temperaturbereich von -40°C bis $+85^{\circ}\text{C}$ zu erfassen.

Neben der Umgebungstemperatur sind auch die differentiellen Temperaturänderungen, hervorgerufen durch die Kompression und Dekompression der Luft im Luftfederbalg zu kompensieren. Da eine Temperaturmessung in der Luft über einen Temperaturfühler generell mit sehr großen Zeitkonstanten verbunden ist, kann der Temperaturfühler den schnellen Temperaturgradienten nicht linear folgen.

Ein plötzlicher Druckanstieg auf das Öffnen des Ventils und Zuführen von Druckluft führt zu einem starken positiven Temperatursprung. Durch einen internen Ausgleichsvorgang in dem Luftfederbalg kehrt die Temperatur zurück zu ihrem Ausgangswert (abgesehen von geringfügigen internen, nicht umkehrbaren Erwärmungen in den Luftfederbalg). Der Temperaturfühler ist im Bereich des Ultraschallwandlers angeordnet und kann diesen Temperatursprünge nur sehr langsam folgen. Differenziert man das Temperatursignal nach der Zeit, kann man die differentiellen Temperatursprünge hinreichend genau kompensieren bzw. erfassen.

Erfindungsgemäß wird in der nachgeschalteten Auswertung das Temperatursignal nach der Zeit differenziert. Prak-

tische Versuche haben gezeigt, daß schnelle Temperaturänderungen mit einer kurzen Verzögerungszeit auf den Temperaturfühler durchschlagen. Es wurden Kennlinien aufgenommen, die den Zusammenhang zwischen der tatsächlichen Temperaturänderung und der an und von dem Temperaturfühler gemessenen Temperaturänderung darstellen (Fig. 10). Die nachgeschaltete Auswerteschaltung nimmt nun bei einer geringen Änderung an dem Temperaturfühler eine deutlich höhere Temperaturänderung der Luft an und "überkompensiert" den von dem Temperaturfühler gemessenen Temperaturmeßwert, d. h. die Auswerteschaltung schließt von der von dem Temperaturfühler über eine bestimmte Zeit gemessenen Temperaturänderung auf die tatsächliche Temperaturänderung. Da sich die Luftdruckänderungen im Luftfederbalg immer wieder ausgeglichen, reicht diese differenzielle Kompensation der Temperaturänderungen aus, um die Temperatursprünge von bis zu 55°C hinreichen genau zu kompensieren.

Es ist bekannt, daß man die Temperaturabhängigkeit einer Echolaufzeitmessung auch mit einem sogenannten Referenzreflektor kompensieren kann. Ein Referenzreflektor kann z. B. als schmaler Drahtbügel ausgebildet sein, der vor dem Ultraschallwandler 2/3 im Zentralstrahl angeordnet ist. Der Drahtbügel muß dabei außerhalb des Nahbereichs des verwendeten Ultraschallwandlers liegen. Mit jeder Messung wird die Laufzeit zu dem Drahtbügel und die Laufzeit zu dem Kolben bzw. zu dem Puffer gemessen. Da die Entfernung zu dem Referenzreflektor bzw. zu dem Drahtbügel immer konstant ist, kann der Laufzeitwert zu dem Kolben auf den Laufzeitwert zu dem Drahtbügel normiert werden. Damit der Drahtbügel nicht störend in den Luftfederbalg hineinragt, wird der Ultraschallsensor 30 in einem Dom 32 montiert. Der Dom hat jetzt eine Höhe, die geringfügig größer als der Nahbereich des Ultraschallwandlers ist. Am unteren Ende, also an der Schallaustrittsöffnung des Doms wird der Referenzbügel quer über die Öffnung gelegt.

Nachteilig bei dieser Ausführungsform der Erfindung ist es, daß einerseits die Empfindlichkeit des Ultraschallsensors möglichst gering sein sollte, um keine Störreflexionen aus dem Dom zu empfangen, andererseits jedoch ein schmaler Drahtbügel in nahezu gleicher Entfernung erkannt werden soll. Bei dieser Anordnung sind Mehrfachreflexionen kaum zu vermeiden. Das vom Drahtbügel ausgehende Echo wird nämlich an dem Ultraschallwandler selber wieder reflektiert und läuft zurück zum Drahtbügel. Dort wird es wieder reflektiert und gelangt wiederum zum Ultraschallwandler. Es tritt somit eine unbestimmte Anzahl von Mehrfachreflexionen auf.

Erfindungsgemäß kann ein Referenzreflektor vorteilhaft in einem konisch oder vorzugsweise parabolisch nach außen sich verjüngenden Dom 32 realisiert werden (Fig. 6), wenn auf der Innenseite des Doms in dem unteren Bereich eine kleine Reflektornase 34 angebracht wird. Diese Reflektornase liegt nicht mehr direkt im Zentralstrahl des Schallfelds. Die Reflexionsfläche der Reflektornase ist senkrecht zu der Strahlkomponente ausgerichtet. Eine Echoreflexion, die jetzt zum Wandler zurückläuft, dort empfangen und gleichzeitig wieder reflektiert wird, gelangt nun nicht wieder zurück zum Referenzreflektor bzw. zur Reflektornase, sondern tritt auf Innenseite des Doms aus.

Sehr häufig sind die Radaufhängungen an einem Fahrgestellbau 77 mit einer in einem Drehpunkt 78 gelagerten Schwinge 79 realisiert (Fig. 7). Der untere Kolben 26, 71 bewegt sich dann über den Hub der Luftfeder auf einer Kreisbahn. Erfindungsgemäß wird die dem Ultraschallsensor 30, 74 zugewandte Seite des Kolbens 26, 71 bzw. des Puffers 27, d. h. das zweite Ende des Luftfederbalgs 22, 72, kugelförmig ausgestaltet, wobei der Radius der Kugel so ge-

wählt wird, daß in jeder Hubposition eine Strahlkomponente des Schallfelds senkrecht auf die Oberfläche des kugelförmig ausgebildeten Kolbens 26, 71 oder Puffers 27 auftritt. Wenn eine Strahlkomponente im rechten Winkel auf das Segment der Kugeloberfläche auftrifft, verläuft die Strahlkomponente auch durch den Ursprung der Kugel. Hier sind empirisch der optimale Einbauort des Ultraschallsensors in der oberen Platte bzw. in dem ersten Ende des Luftfederbalgs und der Radius der Kugeloberfläche des Kolbens oder Puffers zu ermitteln. Die Bezugszeichen 75 stehen für Luft-
einlaßventil, 73 für Luftauslaßventil und 76 für obere Befestigungsplatte.

Bezüglich weiterer Merkmale, Ausgestaltungen, Weiterentwicklungen und Vorteile wird ausdrücklich auf die Figuren verwiesen.

Patentansprüche

1. Ultraschall-Luftfeder mit:
einem elastischem Luftfederbalg (22) zur Aufnahme von Federbewegungen und Befestigungsteilen, wobei der Luftfederbalg ein erstes Ende (24) und ein dem ersten Ende gegenüberliegendes zweites Ende (26, 27) aufweist, welche relativ zueinander beweglich angeordnet sind, und
einem Ultraschallsensor (30) zur Erfassung des Abstands zwischen dem ersten und dem zweiten Ende des Luftfederbalgs, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ultraschallsensor einen Ultraschallwandler (2; 3) enthält, der für eine hohe Frequenz ausgelegt ist und piezoelektrisches Wandlerelement sowie eine Anpaßschicht aufweist, dessen Dicke ein Viertel der wandlereigenen Wellenlänge beträgt.
2. Ultraschall-Luftfeder mit:
einem elastischem Luftfederbalg (22) zur Aufnahme von Federbewegungen und Befestigungsteilen, wobei der Luftfederbalg ein erstes Ende (24) und ein dem ersten Ende gegenüberliegendes zweites Ende (26, 27) aufweist, welche relativ zueinander beweglich angeordnet sind, und
einem Ultraschallsensor (30) zur Erfassung des Abstands zwischen dem ersten und dem zweiten Ende des Luftfederbalgs,
dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsensor einen Ultraschallwandler (2; 3) enthält, der für eine hohe Frequenz ausgelegt ist und einen piezoelektrischen Radialschwinger (40), eine auf der einen Seite des Radialschwingers (40) angebrachte Anpaßschicht (41), deren Dicke $\lambda/4$ beträgt, und ein auf der anderen Seite des Radialschwingers (40) angebrachtes Dämpfungsmaterial (42) hat.
3. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallwandler in Form eines Topfes (43) ausgebildet ist und daß der Radialschwinger (40) am Boden des Topfes (43) angeordnet ist.
4. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Topf (43) des Ultraschallwandlers mit Dämpfungsmaterial (42) ausgefüllt ist.
5. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Topf (43) an der schallabstrahlenden Seite eine umlaufende Phase (44) aufweist.
6. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallwandler (2; 3) für eine Frequenz im Bereich von 60 kHz bis 400 kHz und vorzugsweise von

320 kHz bis 400 kHz ausgelegt ist.

7. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anpaßschicht aus PE oder mit Glashohlkugeln versetztem Kunstharz besteht.

8. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsensor (30) an dem ersten Ende (24) des Luftfederbalgs (22) angebracht ist und die Apertur des Ultraschallwandlers (2; 3) bündig damit abschließt.

9. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Dom (32) an dem ersten Ende (24) des Luftfederbalgs (22) angebracht ist und sich nach außen erstreckt, wobei der Ultraschallsensor (30) in dem Dom derart angebracht ist, daß die Apertur des Ultraschallwandlers (2; 3) bündig mit dem ersten Ende des Luftfederbalgs abschließt oder beabstandet davon innerhalb des Doms befindlich ist.

10. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Dom (32) zylindrisch ausgebildet ist und der Durchmesser des Doms größer, insbesondere mindestens 5 mal größer, als der Durchmesser der Apertur des Ultraschallwandlers (2; 3) ist.

11. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Dom konisch oder parabolisch, sich nach außen verjüngend ausgebildet ist und insbesondere der größte Durchmesser des Doms mindestens 5 mal größer als der Durchmesser der Apertur des Ultraschallwandlers (2; 3) ist.

12. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsensor (30) eine elektronische Steuerschaltung (Fig. 5) aufweist, die dem Ultraschallwandler über eine Ansteuerungsschaltung (1) Signale zuführt und über eine Signalverarbeitungsschaltung (4, 7, 8, 9) von dem Ultraschallwandler Signale empfängt, wobei die Signalverarbeitungsschaltung eine Rauschpegelerkennungsschaltung aufweist.

13. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Rauschpegelerkennungsschaltung einen Analogverstärker (4), dessen erster Eingang an dem Ultraschallwandler (2; 3) angeschlossen ist, einen Gleichrichter (7), dessen Eingang an dem Ausgang des Analogverstärkers angeschlossen ist und dessen Ausgang an einen ersten Eingang der Komparatorschaltung (8) gekoppelt ist, und eine Tiefpaßschaltung (9) aufweist, deren Eingang an dem Ausgang des Gleichrichters angeschlossen ist und deren Ausgang an einem zweiten Eingang des Analogverstärkers angeschlossen ist.

14. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Rauschpegelerkennungsschaltung einen Analogverstärker (4), dessen Eingang an dem Ultraschallwandler (2; 3) angeschlossen ist, einen Gleichrichter (7), dessen Eingang an dem Ausgang des Analogverstärkers angeschlossen ist, einen Komparator (8), dessen erster Eingang an dem Ausgang des Gleichrichters angeschlossen ist und dessen Ausgang an einem ersten Eingang der Steuerschaltung (5) angeschlossen ist, und eine Tiefpaßschaltung (9) aufweist, deren Eingang an dem Ausgang des Gleichrichters angeschlossen ist und deren Ausgang an einem zweiten Eingang des Komparators angeschlossen ist.

15. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß

die Rauschpegelerkennungsschaltung einen Analog-
verstärker (4), dessen erster Eingang an dem Ultra-
schallwandler (2; 3) angeschlossen ist, einen Gleich-
richter (7), dessen Eingang an dem Ausgang des Ana-
logverstärkers angeschlossen ist, einen Komparator 5
(8), dessen erster Eingang an dem Ausgang des Gleich-
richters angeschlossen ist und dessen Ausgang an ei-
nem ersten Eingang der Steuerschaltung (5) ange-
schlossen ist, und eine Tiefpaßschaltung (9) aufweist,
deren Eingang an dem Ausgang des Gleichrichters an- 10
geschlossen ist, deren erster Ausgang an einem zweiten
Eingang des Analogverstärkers angeschlossen ist und
deren zweiter Ausgang an einem zweiten Eingang des
Komparators angeschlossen ist.

16. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehen- 15
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ul-
traschallsensor (30) einen Temperaturfühler (10) auf-
weist, der an die Steuerschaltung (5) angeschlossen ist.

17. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehen- 20
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steu-
erschaltung (5) das Temperatursignal des Temperatur-
fühlers derart verarbeitet, daß der über einen langen
Zeitraum gemittelte Temperaturwert zur Kompensa-
tion der Umgebungstemperatur genutzt wird, die au-
genblicklich gemessenen Temperaturwerte nach der 25
Zeit differenziert werden und die differentiellen Tem-
peraturänderungen zur Kompensation der durch Kom-
pression und Dekompression der Luft hervorgerufenen
Temperatursprünge genutzt werden.

18. Ultraschall-Luftfeder nach einem der Ansprüche 1 30
bis 15, gekennzeichnet durch einen Referenzreflektor
(34).

19. Ultraschall-Luftfeder nach einem der Ansprüche 1
bis 15 und/oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß der 35
Referenzreflektor (34) als Ausbuchtung an der Innen-
seite des Doms vorgesehen ist und die Reflexionsfläche
des Referenzreflektors im wesentlichen senkrecht zur
Ultraschall-Abstrahlungsrichtung ausgerichtet ist.

20. Ultraschall-Luftfeder nach einem der vorangehen- 40
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das dem
Ultraschallsensor (30) zugewandte zweite Ende (26,
27) des Luftfederbalgs (22) kugelförmig ausgebildet ist
und der Radius derart bestimmt ist, daß in jedem Hub-
zustand des Luftfederbalgs die Ultraschall-Abstrah- 45
lungsrichtung im wesentlichen senkrecht zur Oberflä-
che des zweiten Endes des Luftfederbalgs ausgerichtet
ist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

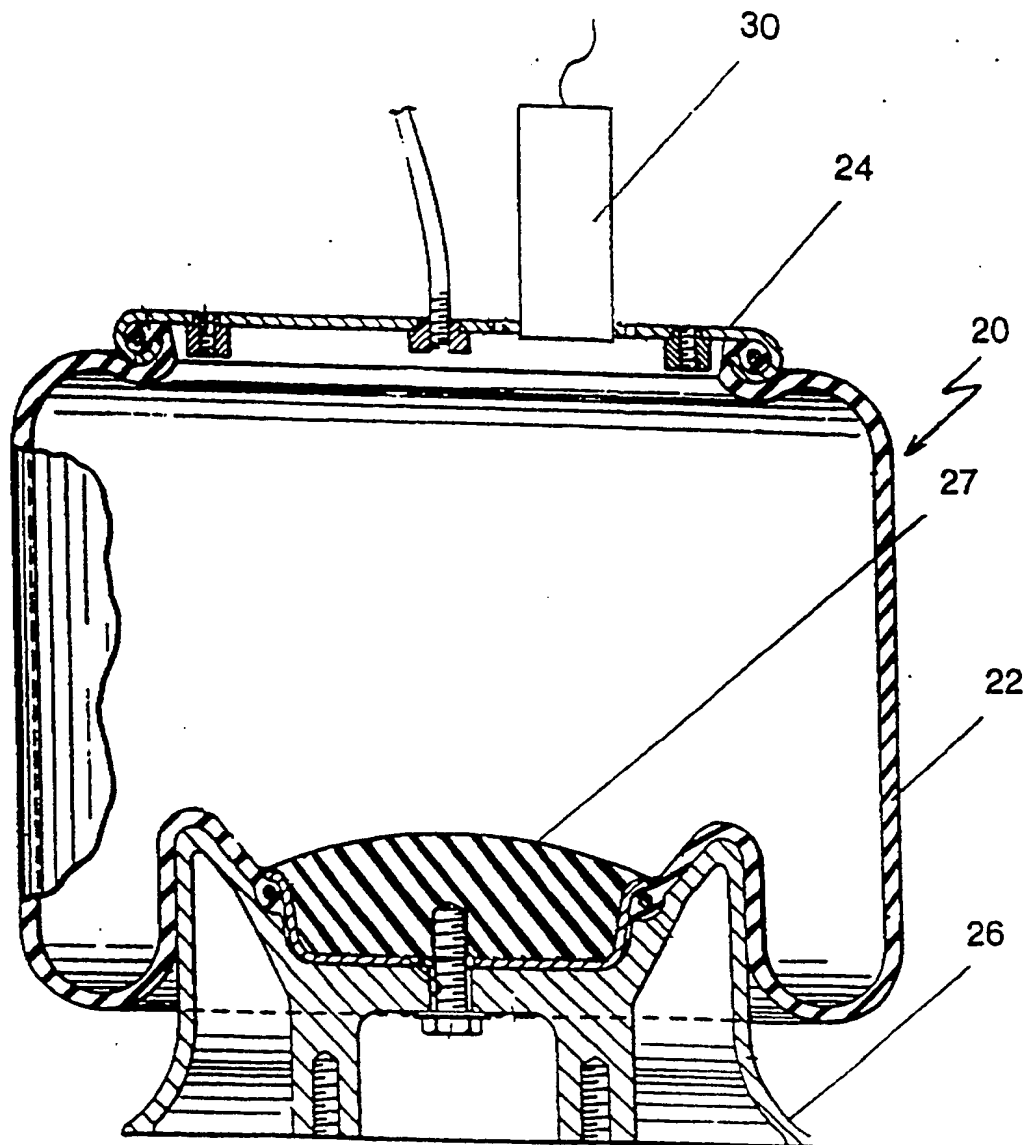
50

55

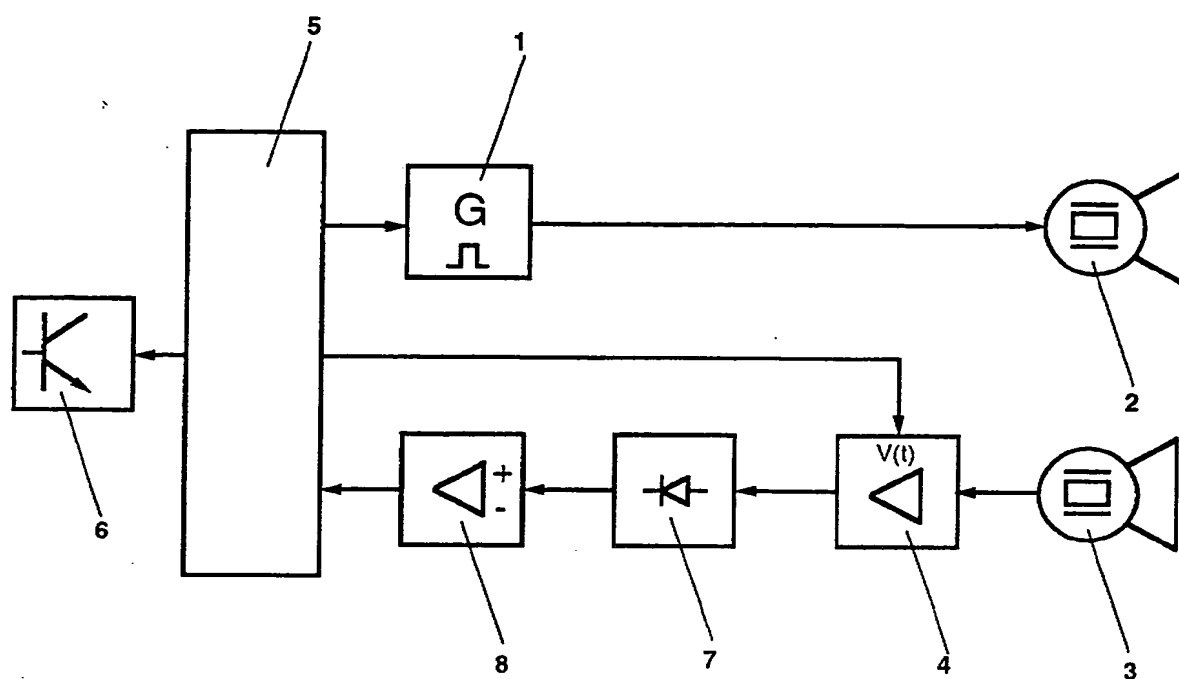
60

65

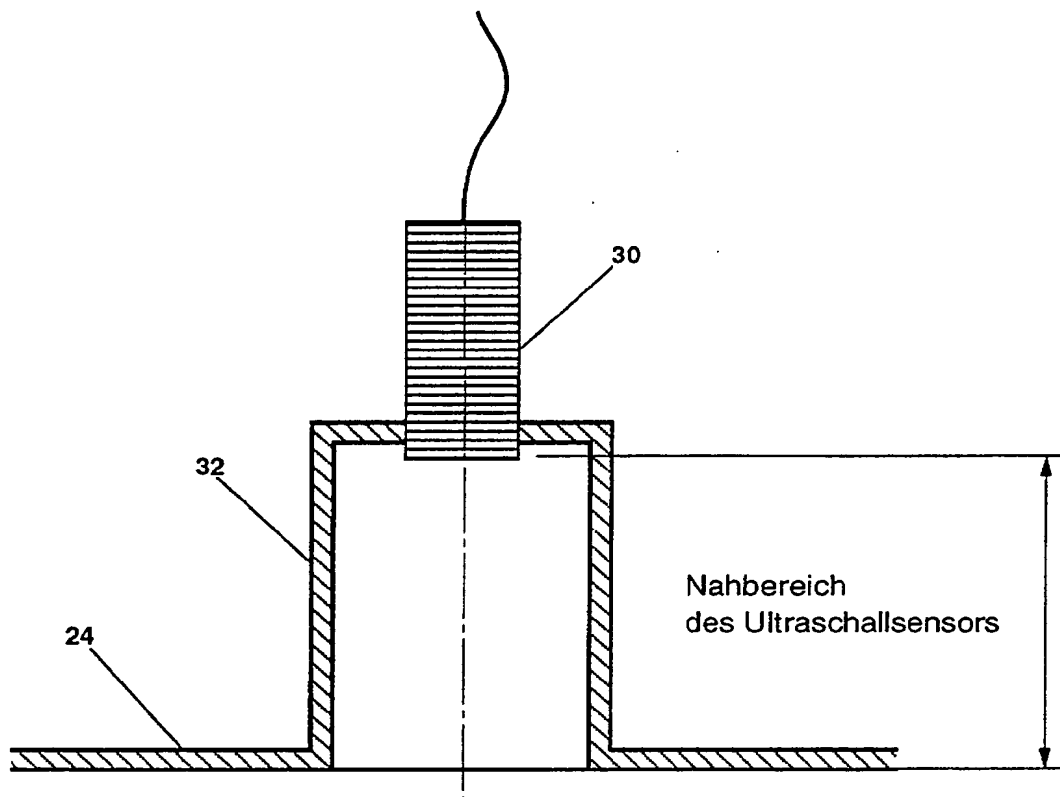
- Leerseite -



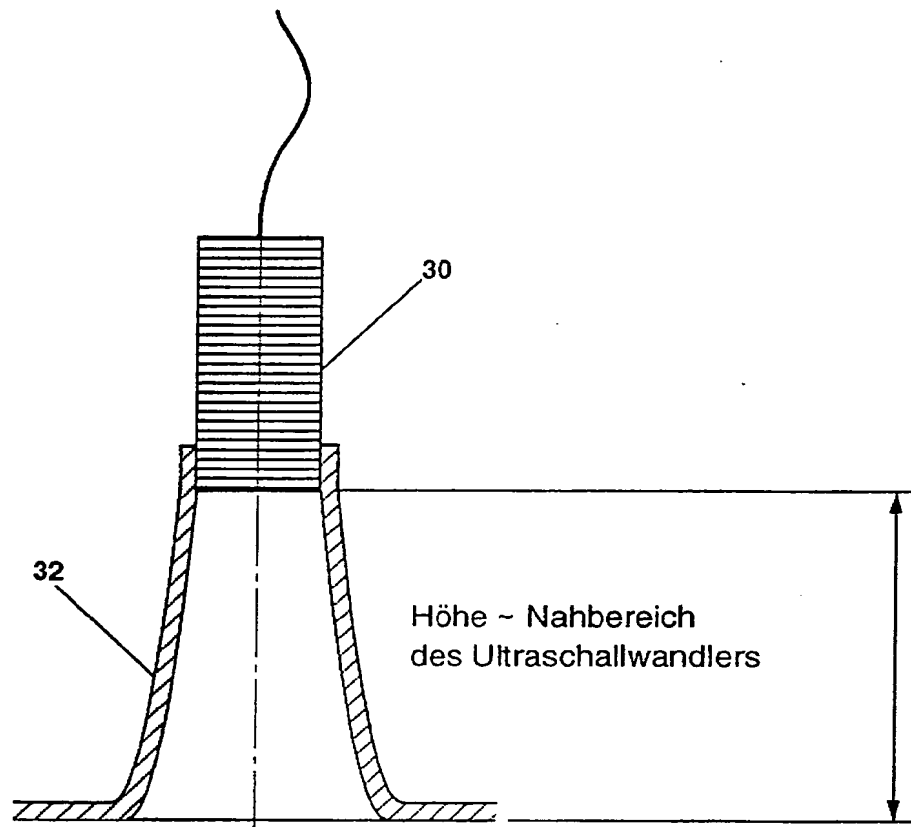
Figur 1



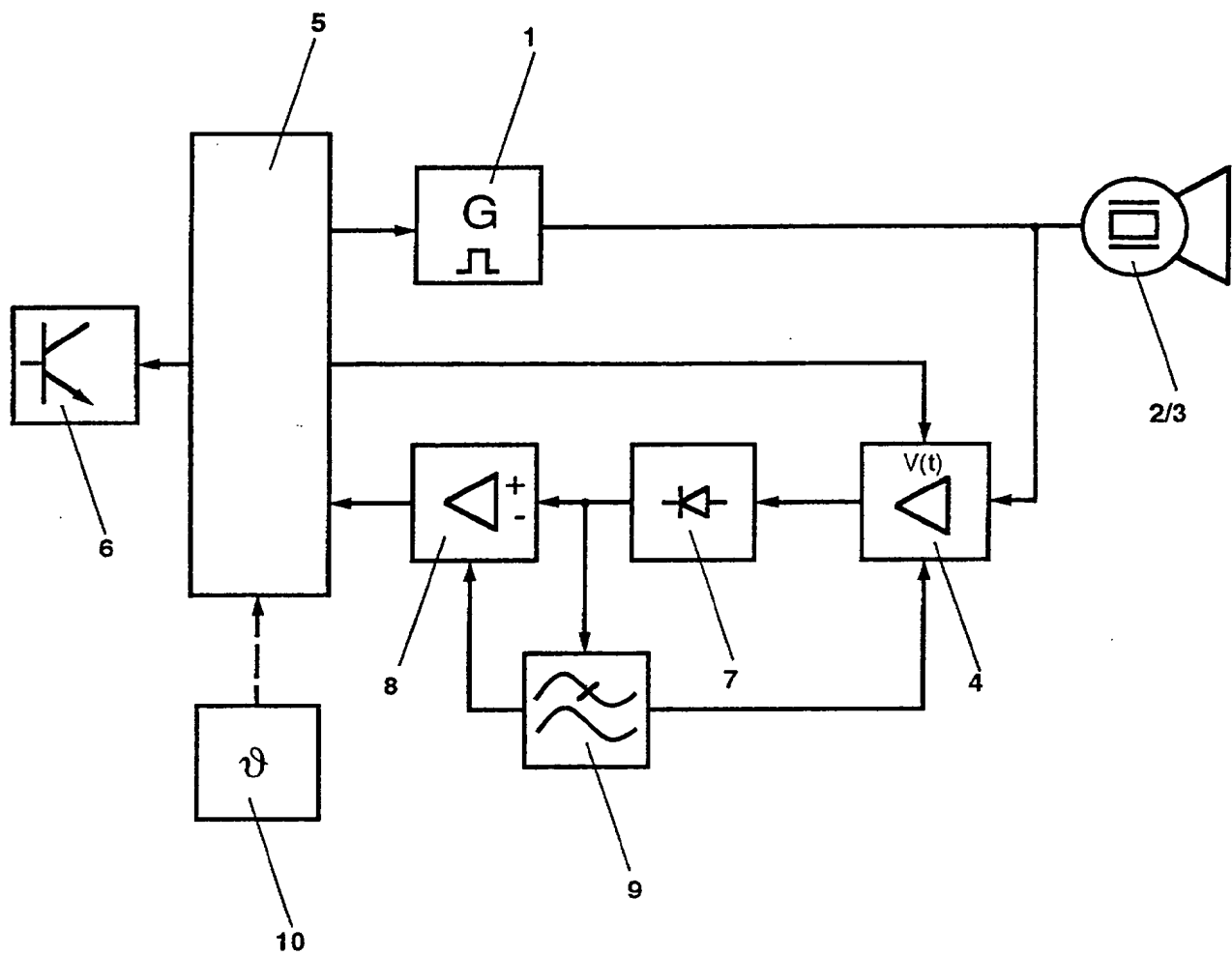
Figur 2



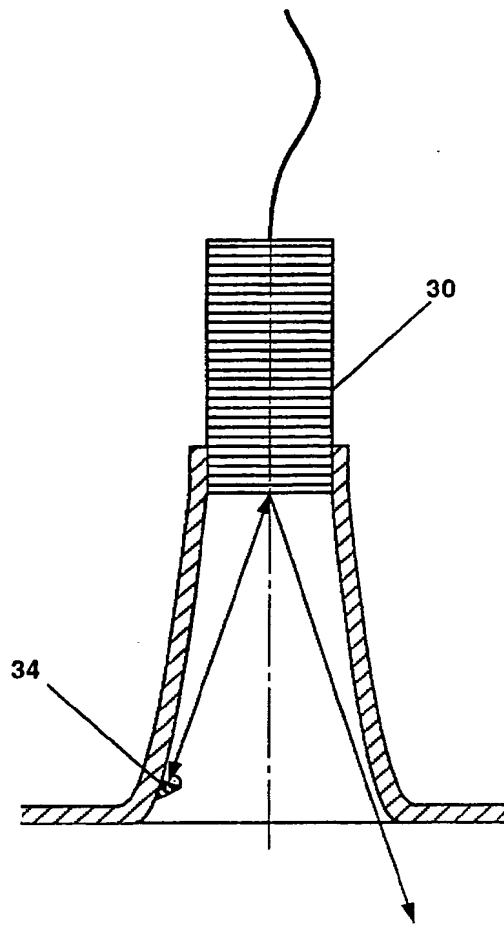
Figur 3



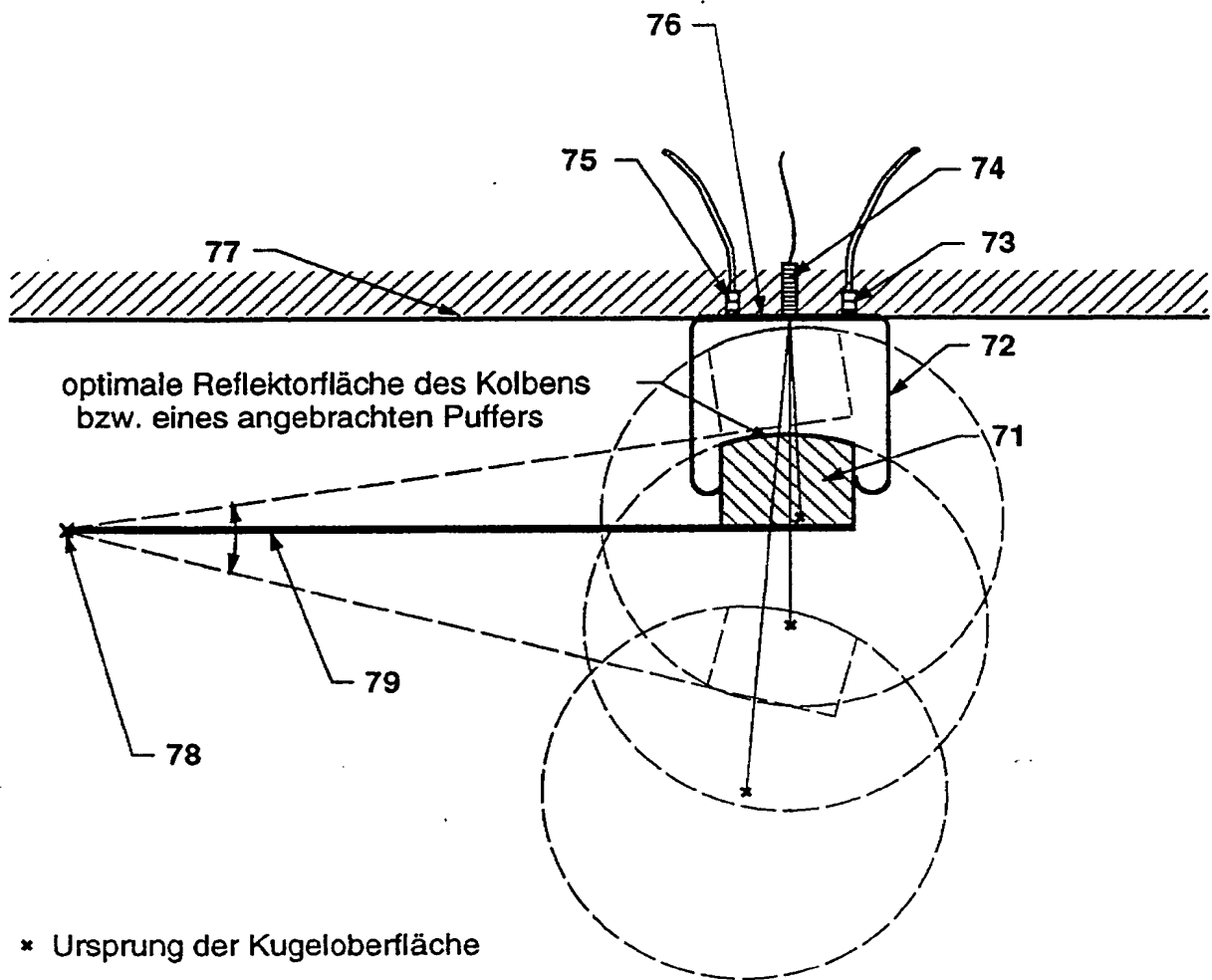
Figur 4



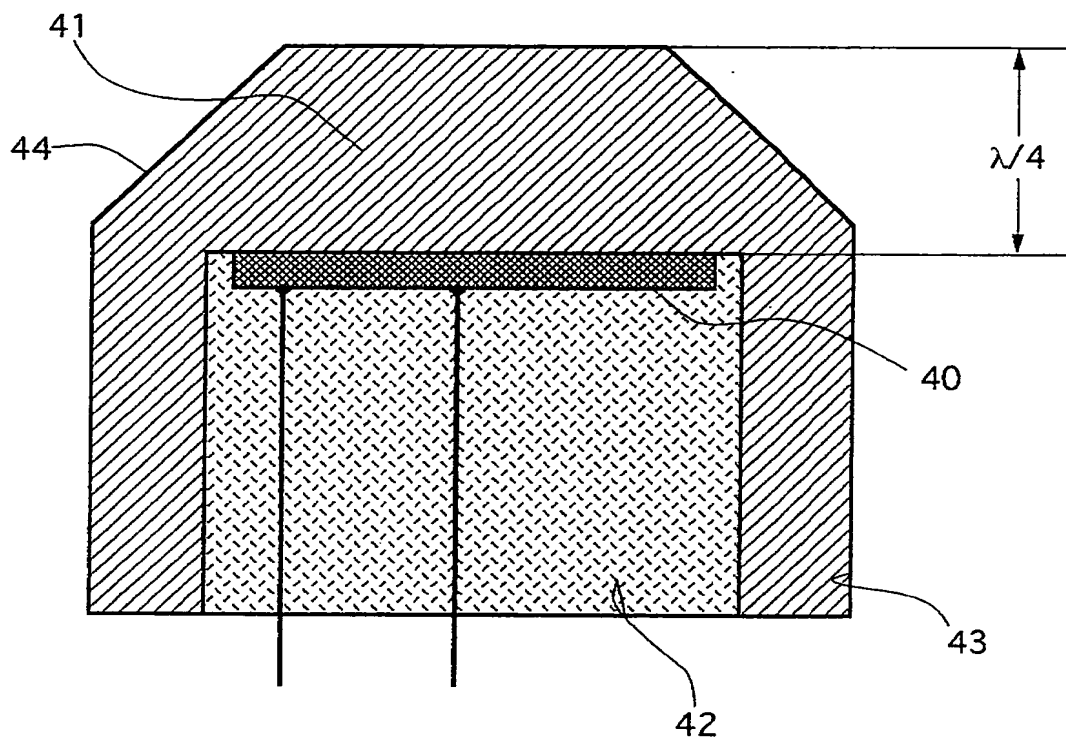
Figur 5



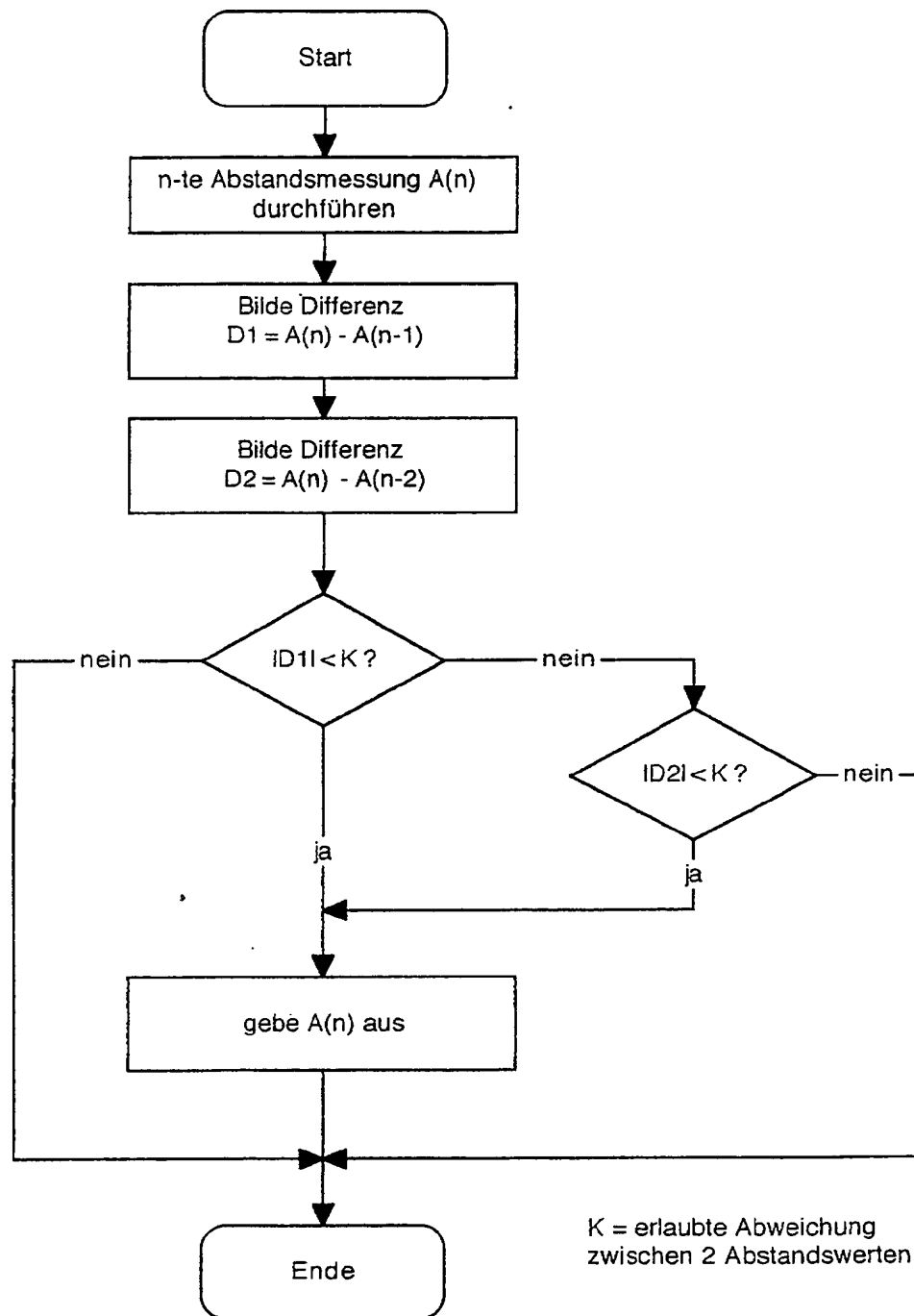
Figur 6



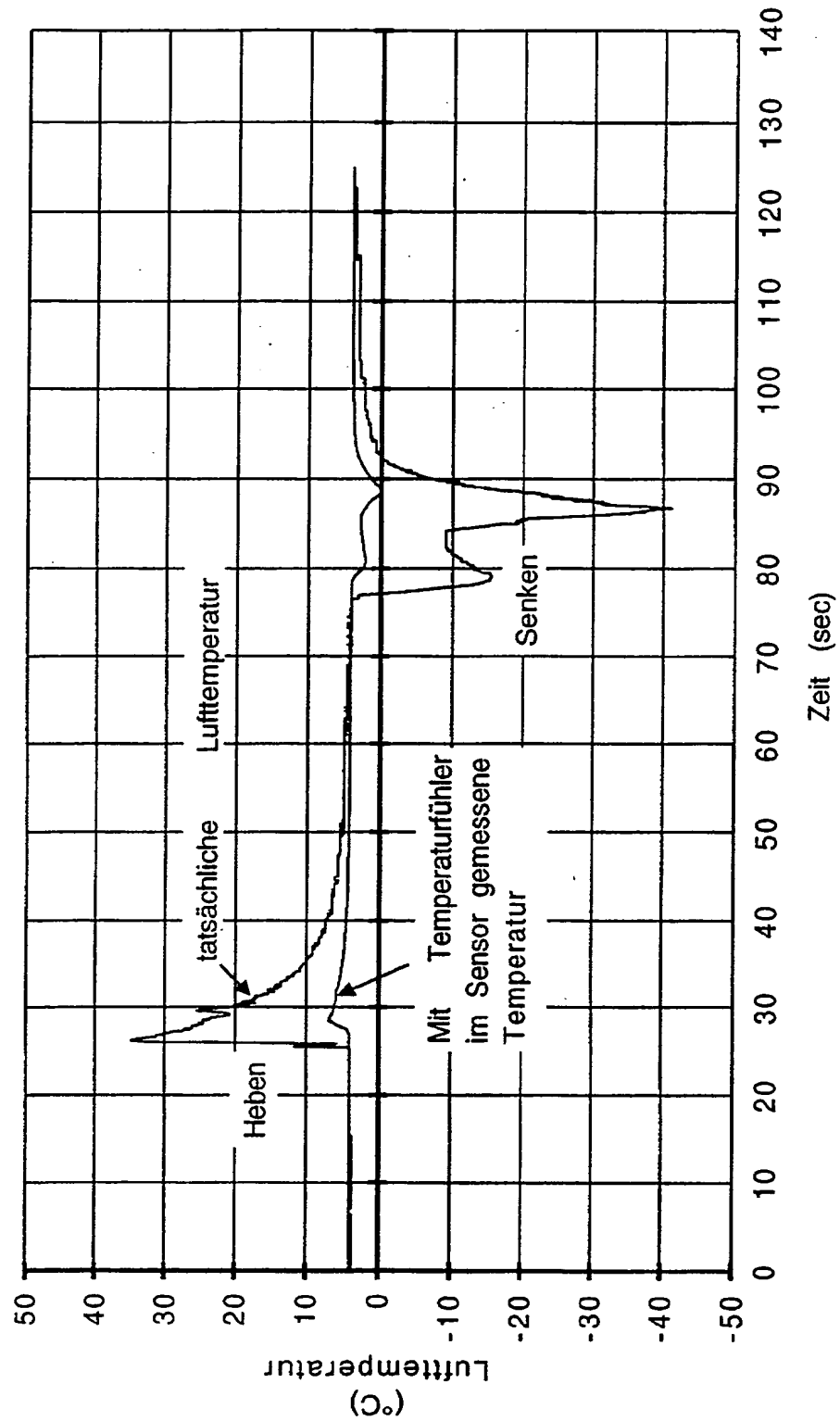
Figur 7



Figur 8

**Figur 9**

Befüllen und Entleeren der Luftfeder



Figur 10